

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Электронные приборы и устройства»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

*Б.1.1.18 «Наноэлектроника»*

направления подготовки

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль «Электронные приборы и устройства»

форма обучения – очная

курс – 3

семестр – 6

зачетных единиц – 4

всего часов – 144,

в том числе:

лекции – 18

практические занятия – 36

всего аудиторн. - 54

самостоятельная работа – 90

экзамен – 6 семестр

## **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

*1.1 Целью дисциплины является освоение студентами физических принципов и основ нанoeлектроники, изучение технологий синтеза наноструктур и их дальнейшее применение.*

*1.2 Задачи изучения дисциплины:*

- выработать у студентов глубокое понимание роли и значения нанoeлектроники в современном развитии общества, ее особенностей и места среди других наук;
- овладеть теорией и основами физических принципов нанoeлектроники, технологии изготовления наноструктур;
- овладеть теорией и основами принципов работы нанoeлектронных приборов и устройств, разрабатываемых на основе обнаруженных явлений и эффектов;
- выработать навыками и умением к анализу и систематизированию результатов исследований, представлению материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Для успешного усвоения данной дисциплины необходимо, чтобы студент владел знаниями, умениями и навыками, сформированными в процессе изучения дисциплин:

- Физика Б.1.1.6, Б.1.1.9 (ОПК2).
- Физические основы электроники Б.1.1.16 (ПК 1,2).
- Микроэлектроника Б.1.3.7.1 (ПК 1).

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7).

Студент должен знать:

- теоретические и практические основы физики,
- этапы развития электроники,
- микроэлектроники и нанoeлектроники,
- научные и технологические основы нанoeлектроники,
- элементы и приборы нанoeлектроники, принципы их построения,
- технические средства нанотехнологий.

Студент должен уметь:

- самостоятельно изучать физические основы электроники,
- оценивать перспективы нанoeлектроники.

Студент должен владеть:

- способностью анализировать результаты практических и самостоятельных исследований.

**4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам  
и видам занятий**

№ м о д у л я	№ н е д е л и	№ т е м ы	Наименование темы	Часы / Из них в интерактивной форме					
				Всего	Лек- ции	Колл ок- виум ы	Лабора- торные	Прак- тичес- кие	СРС
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>6 семестр</b>									
1	1, 2	1	Введение. Этапы развития нанoeлектроники.	12	2				10
1	3, 8	2	Теоретические основы нанoeлектроники	48	6			12	30
1	9, 10	3	Низкоразмерные наноструктуры. Одноэлектроника	12	2				10
1	11, 12	4	Ненакаливаемые источники электронов	24	2			12	10
2	13, 14	5	Технологии создания наноструктур	12	2				10
2	15, 16	6	Технические средства нанотехнологий	24	2			12	10
2	17, 18	7	Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники	12	2				10
<b>Всего</b>				<b>144</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>90</b>

## 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего , часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, обрабатываемые на лекции	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	<u>Введение:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Этапы развития нанoeлектроники.</li> <li>• Пространственное строение твердых тел</li> </ul>	1, 2, 5,
2	2	2	<u>Теоретические основы нанoeлектроники:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Виды химической связи в кристаллах.</li> <li>• Дефекты кристаллической решетки</li> </ul>	1, 2, 5,
3	2	3	<u>Теоретические основы нанoeлектроники:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основные положения квантовой механики.</li> <li>• Момент импульса и спин</li> <li>• Туннельный эффект</li> </ul>	1, 2, 5,
4	2	4	<u>Теоретические основы нанoeлектроники:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Квантовые потенциальные ямы.</li> <li>• Энергетическая структура сверхрешеток</li> </ul>	1, 2, 5,
5	2	5	<u>Низкоразмерные наноструктуры.</u> <u>Одноэлектроника:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Плотность энергетических состояний.</li> <li>• Одноэлектронные приборы</li> <li>• Одноэлектронный МДП транзистор.</li> </ul>	1, 2, 5,
6	2	6	<u>Ненакаливаемые источники электронов:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Элементарная теория автоэлектронной эмиссии. Закон Фаулера - Нордгейма. Энергетический спектр эмитированных электронов</li> <li>• Катоды Спиндта и на основе УНТ.</li> </ul>	7
7	2	7	<u>Технологии создания наноструктур:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы, использующие сканирующие зонды.</li> <li>• Нанолитография.</li> </ul>	1, 3, 4, 5, 6, 8
8	2	8	<u>Технические средства нанотехнологий:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Эпитаксиальные методы получения наноструктур.</li> <li>• Углеродные нанотрубки.</li> <li>• Формирование квантовых точек и проволок.</li> <li>• Контакты к отдельным молекулам.</li> </ul>	1, 3, 4, 5, 6, 8
9	2	9	<u>Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Лазеры с квантовыми ямами и точками.</li> <li>• Нанокomпьютеры.</li> </ul>	1, 3, 4, 5, 6, 8

## 6. Содержание коллоквиумов

Коллоквиумы учебным планом не предусмотрены.

## 7. Перечень лабораторных занятий

Не предусмотрены учебной программой.

## 8. Перечень практических работ

№ темы	Всего час.	Наименование лабораторной работы. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном занятии.	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4
2	12	Методы анализа наноматериалов. Часть 1 (Методика масс-спектрометрических исследований. Принцип дифракционных методов исследования поверхности тел. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Туннельный микроскоп. Атомно-силовой микроскоп.)	1, 2, 5
4	12	Методы анализа наноматериалов. Часть 2 (Полевая и ионная микроскопия. Характеристика источников рентгеновского излучения. Рентгеновская спектроскопия поглощения EXAFS, XANES и NEXAFS. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Ультрафиолетовая электронная спектроскопия. Электронная оже-спектроскопия)	1, 2, 5
6	12	Нанoeлектронные устройства. (Исследование нанотехнологий как совокупность технологий, процессов и методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами с целью получения новых материалов, приборов и устройств)	1, 3, 4, 5, 6

Методические указания приведены в соответствующем разделе ИОС.

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Час.	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4
1.	10	<u>Введение.</u> Этапы развития нанoeлектроники. Нанoeлектроника: от "микро" к "нано".	1, 2, 5
2.	10	<u>Свойства индивидуальных наночастиц.</u> Металлические нанокластеры. Электронная структура. Магнитные кластеры. Полупроводниковые наночастицы. Оптические свойства.	1, 2, 5
3.	10	<u>Углеродные наноструктуры.</u> Углеродные молекулы. Углеродные кластеры. Углеродные нанотрубки.	1, 2, 5
4.	10	<u>Объемные наноструктурированные материалы.</u> Разупорядоченные твердотельные структуры. Методы синтеза. Основные свойства.	1, 2, 5
5.	10	<u>Физические принципы нанoeлектроники.</u> Принцип квантования и квантовое граничение. Квантовый эффект Холла. Туннелирование носителей заряда.	1, 2, 5, 7
6.	10	<u>Физические принципы нанoeлектроники.</u> Спиновые эффекты. Гигантское магнитосопротивление. Устройства, использующие спин-эффекты.	1, 3, 4, 5, 6
7.	10	<u>Технологии создания твердотельных наноструктур.</u> Традиционные методы осаждения пленок. Методы, использующие сканирующие зонды. Нанолитография. Сравнение нанолитографических методов.	1, 3, 4, 5, 6
7		<u>Технические средства нанотехнологий .</u> Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Углеродные нанотрубки. Формирование квантовых точек и проволок. Контакты к отдельным молекулам.	1, 3, 4, 5, 6
7		<u>Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники.</u> Лазеры с квантовыми ямами и точками. Нанокomпьютеры и др.	1, 3, 4, 5, 6

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС.

### 10. Расчетно-графическая работа

Не предусмотрена учебной программой.

### 11. Курсовая работа

Не предусмотрена учебной программой.

### 12. Курсовой проект

Не предусмотрен учебной программой.

### 13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В процессе освоения образовательной программы формируются отдельные элементы компетенций:

- способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7).

Содержание лекционного курса и лабораторных занятий формируют на рассматриваемом этапе элементы компетенций в части, касающейся знаний основ электроники, наноэлектроники, умений оценивать пределы применимости и применять знания нанофизики, владений навыками применения методов описания квантовых систем, анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов.

Процедура оценивания знаний, умений и навыков проводится в соответствии со следующими методическими материалами и заключается:

- в проведении устного экзаменационного опроса в виде диалога преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала;

- отчетов по лабораторным работам, для оценки способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, а также составления выводов.

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная на экзамене при ответе на вопросы для экзамена. Оценка выставляется по четырехбалльной шкале, соответствующей оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно» и осуществляется путем анализа ответа на вопросы для экзамена. При этом руководствуются следующими критериями.

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Отлично	Заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, предусмотренного программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.
Хорошо	Заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Оценка "хорошо" выставляется обучающимся, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.
Удовлетворительно	Заслуживает обучающийся, обнаруживший знания

	основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой. Оценка выставляется обучающимся, допустившим погрешности при ответе и выполнении заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.
Неудовлетворительно	Выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала. Оценка ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательного учреждения без дополнительных занятий по рассматриваемой дисциплине

Умения и навыки, приобретенные студентом на этапе освоения указанной части компетенций при преподавании (изучении) рассматриваемой дисциплины, оцениваются по результатам выполнения:

- лабораторных работ,
- самостоятельной работы.

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная при отчете по лабораторным работам, самостоятельной работе. Оценка выставляется по четырехбальной шкале, соответствующей оценкам «зачтено» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно») и «не зачтено» («неудовлетворительно») и осуществляется путем анализа знаний теоретического материала, проведенного эксперимента, оформленного отчета, выступления и ответов на вопросы.

При этом руководствуются следующими критериями при оценивании знаний теоретического материала, проведенного эксперимента и оформленного отчета:

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено (отлично)	Выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и правил оформления отчета. Студенты работают полностью самостоятельно: подбирают необходимые для выполнения предлагаемых работ в задании источники знаний, показывают необходимые для проведения лабораторной работы теоретические знания, практические умения и навыки.
Зачтено (хорошо)	Выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме и самостоятельно. Допускаются отклонения от необходимой последовательности выполнения и правил оформления отчета, не влияющие на правильность конечного результата. Студенты



	используют указанные преподавателем источники знаний, таблицы из приложения к учебнику, страницы из справочной литературы по предмету. Задание показывает знание учащихся основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Могут быть неточности и небрежность в оформлении результатов работы.
Зачтено (удовлетворительно)	Выставляется студенту, если задание на практическую работу выполняется и оформляется студентами при помощи преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполненных на «отлично» данную работу студентов. На выполнение задания затрачивается много времени (можно дать возможность доделать работу дома). Студенты показывают знания теоретического материала, но испытывают затруднение при самостоятельной работе с физическими приборами, графиками, таблицами справочной литературы.
Не зачтено (неудовлетворительно)	Выставляется, если студенты показывают плохое знание теоретического материала и отсутствие умения применить знания к решению практической задачи, неумение оформить отчет. Руководство и помощь со стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны по причине плохой подготовки студента.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Наноэлектроника» включает учет успешности выполнения лабораторных работ, самостоятельной работы и сдачу экзамена.

### Вопросы для экзамена

1. Определение наноэлектроники. Основные этапы развития наноэлектроники.
2. Методика масс-спектрометрических исследований. Схема измерений.
3. Принцип дифракционных методов исследования поверхности тел.  
Определение углов дифракции методом Дебая. Условие Брэгга-Вульфа.
4. Просвечивающая электронная микроскопия
5. Сканирующая электронная микроскопия
6. Сканирующая туннельная микроскопия
7. Атомно-силовой микроскоп
8. Полевой микроскоп. Значение тока эмиссии от внешнего электрического поля. Зависимость тока эмиссии электронов от их энергии.
9. Ионный микроскоп. Схема ионизации молекулы газа в электрическом поле.

10. Характеристика источников рентгеновского излучения. Схема накопительного кольца.
11. Рентгеновская спектроскопия поглощения
12. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия
13. Ультрафиолетовая электронная спектроскопия
14. Оже-спектроскопия
15. Кристаллическая структура твердых тел.
16. Индексы Миллера
17. Обратная решетка. Решетка Вигнера-Зейтца
18. Ионные кристаллы
19. Ковалентные кристаллы
20. Металлические кристаллы
21. Молекулярные кристаллы
22. Дефекты кристаллической решётки
23. Основные положения квантовой механики, используемые в наноэлектронике
24. Момент импульса и спин
25. Туннельный эффект. Потенциальная энергия электрона вблизи границы металл-вакуум.
26. Уравнение Шредингера. Плотность потока частиц.
27. Отражение и прохождение через потенциальный ступенчатый барьер.
28. Прямоугольный потенциальный барьер
29. Потенциальный барьер произвольной формы
30. Квантовые потенциальные ямы
31. Интерференционные эффекты в наноструктурах
32. Энергетическая структура сверхрешеток
33. Плотность энергетических состояний в низкоразмерных структурах
34. Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская блокада.
35. Двухбарьерные структуры
36. Одноэлектронный МДП транзистор: конструктивно-топологическая схема, ВАХ.
37. Туннелирование через потенциальный барьер на поверхности металла
38. Элементарная теория автоэлектронной эмиссии. Закон Фаулера - Нордгейма.
39. Энергетический спектр эмитированных автоэлектронов
40. Катоды Спиндта и на основе УНТ.

**Тестовые задания по дисциплине**

#### **14. Образовательные технологии**

Лекционный курс читается с применением информационно-коммуникационных образовательных технологий (организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией). Изложение всего материала (лекции-визуализации) сопровождается презентациями (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических).

При проведении лабораторных работ наряду с традиционными образовательными технологиями (лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами) применяются технологии проблемного обучения (проведение лабораторных работ - организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков) и технологии проектного обучения (выполнение творческих и информационных проектов).

Дисциплина «Нанoeлектроника» состоит: из лекционной части в мультимедийном исполнении; лабораторных занятий в виде компьютерного практикума в дисплейном классе на персональных компьютерах, соединенных в локальную сеть и имеющих доступ в Internet для закрепления полученных знаний; самостоятельных занятий для подготовки к занятиям, поискового назначения, овладения учебным материалом и освоения дополнительной литературы.

Блок «самостоятельная работа» представляет консультации по электронной почте и в on-line режиме.

#### **15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине**

##### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Шишкин Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шишкин Г.Г., Агеев И.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 409 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6462>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старостин В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 432 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4589>.— ЭБС «IPRbooks».

##### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

3. Раскин А.А. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Раскин А.А., Прокофьева В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 165 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12273>.— ЭБС «IPRbooks».

4. Трубочкина Н.К. Моделирование 3D наносхемотехники [Электронный ресурс]/ Трубочкина Н.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 524 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12234>.— ЭБС «IPRbooks».
5. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Зебрев Г.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 241 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4585>.— ЭБС «IPRbooks».
6. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс]/ Неволин В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 174 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26894>.— ЭБС «IPRbooks».
7. Трубецков Д. И., Рожнев А. Г., Соколов Д. В. Лекции по сверхвысокочастотной вакуумной микроэлектронике. Саратов: Изд-во ГосУНЦ "Колледж", 1996. 238 с.

#### ИСТОЧНИКИ ИОС:

- 8 «Наноэлектроника»  
<https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/EPU/ELNE/V.1.1.17/default.aspx> доступ по паролю

### **16. Материально-техническое обеспечение дисциплины.**

База проведения занятий – СГТУ имени Гагарина Ю.А. кафедра ЭПУ

Для проведения лекционных занятий требуется комплект технических средств обучения. Изложение лекционного материала сопровождается демонстрационным материалом, оформленным в виде презентации в программе Microsoft PowerPoint.

Помещения для самостоятельной работы студентов: аудитории, оборудованные компьютерами с выходом в Интернет.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: ЭБС «IPRbooks», электронная библиотека СГТУ им. Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ им. Гагарина Ю.А.